

УДК 539.374.3

Д. Д. Хаматов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

**khamatovdd@yandex.ru*

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

НАКОПЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ЦИКЛЕ ИЗГИБА–РАЗГИБА ПРОВОЛОКИ

Рассмотрен процесс накопления деформации путем навивания проволоки на оправку с последующим развиванием. Приведены результаты эксперимента по деформации проволоки из серебра марки Ср99,99. Показана металлография образцов, подвергнутых деформации.

Ключевые слова: изгиб проволоки, разгиб проволоки, микроструктура, серебро, упрочнение

D. D. Khamatov

ACCUMULATION OF DEFORMATION OF A WIRE IN THE BENDING — UNBENDING CYCLE

The process accumulation of deformation by winding wire on a mandrel with subsequent development is considered. The results of an experiment on the deformation of a wire made of Ag99,99 silver are presented. The metallography of the samples subjected to deformation is shown.

Key words: wire bending, wire unbending, microstructure, silver, hardening

В последнее время большое внимание уделяется процессам накопления больших пластических деформаций. Это позволяет измельчить структуру металла, получить за счет эффекта зерно-границного упрочнения более прочный металл [1; 2]. Использование методов прокатки, волочения, прессования приводит к тому, что заготовка в начале процесса должна иметь большие размеры, что не позволяет получить мелкозернистую структуру из-за особенностей кристаллизации. Чтобы избежать этого, желательно процесс накопления деформаций осуществлять без изменения формы [3]. На это направ-

лены, например, такие процессы, как равноканальное угловое пресование (РКУП) и закручивание заготовки [4]. Процесс РКУП дополнительно позволяет развернуть текстуру металла [5], но обладает тем недостатком, что длина заготовки ограничена, а степень деформации оказывается не очень велика [6], процесс закручивания в контейнере связан с образованием жестких зон, куда деформация может не проникать [7].

Вместе с тем желательно расширить набор процессов обработки металлов давлением, в которых возможно накапливать деформацию без существенного изменения формы.

Предлагается накапливать пластическую деформацию, придав заготовке форму спирали с последующим распрямлением спирали. На рис. 1 представлен результат эксперимента по навиванию и последующему распрямлению проволоочной заготовки из пластичного металла (в данном случае, чистое серебро марки $\text{Ср}99,99$). Здесь диаметр проволоки был равен 1,2 мм, а диаметр оправки 3,2 мм.

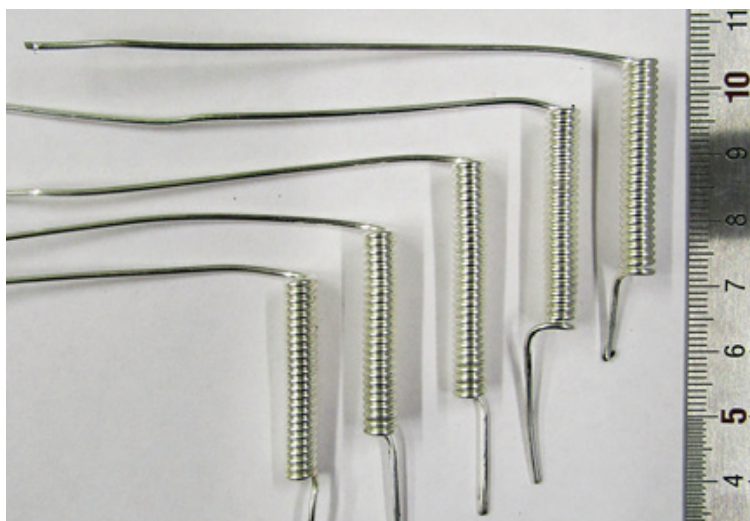


Рис. 1. Фото образцов из серебра $\text{Ср } 99,99$ в навитом состоянии

Расчеты показывают, что в условиях деформации, более подробно описанных в публикации [8], достигнута степень деформации порядка $\varepsilon = 0,82$, которая относится к наружному растянутому волокну профиля.

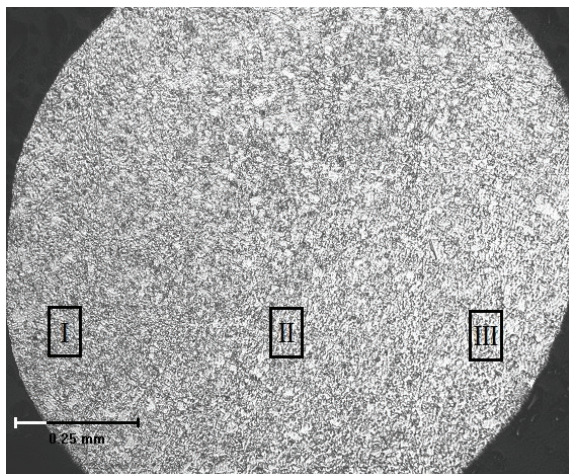


Рис. 2. Фотография микроструктуры серебра марки Ср99,99 в распрямленном состоянии при оптическом увеличении $\times 140$:

I — периферия (наружное волокно); II — центральная часть (нейтральное сечение); III — периферия (внутреннее волокно)

Такой же уровень деформации, но с обратным знаком, относится к внутреннему, примыкающему к поверхности стержня волокну профиля.

Поскольку в центре проволоки локализовано нейтральное сечение, вблизи которого уровень деформации должен оказаться равным нулю, то в среднем деформации окажутся ниже, чем это определено для поверхности проволоки. На рис. 2 представлена фотография микроструктуры, полученная посредством оптической микроскопии на протравленном шлифе (поперечное сечение).

Из рис. 2 видно, что в центральной части зерно имеет больший размер, чем в периферии, что связано с меньшей степенью проработки структуры в области нейтрального сечения.

Было установлено, что после осуществления одного цикла изгиба-разгиба проволоочной заготовки удалось достичь относительного удлинения $\delta = 4,7\%$ (или 157 мм при исходной длине заготовки 150 мм).

Литература

1. Grain refinement and deformation behaviour of medium carbon steel processed by ECAP / J. Zrnik, S. Dobatkin, L. Kraus // Key Engineering Materials. 2014. V. 592–593. P. 307–312.

2. Рааб Г. И. К вопросу промышленного получения объемных ультрамелкозернистых материалов // Физика и техника высоких давлений. 2004. Т. 15, № 1. С. 72–80.

3. Логинов Ю. Н., Богатов А. А. Пластическая деформация без изменения формы // Обработка легких и специальных сплавов. М. : Всероссийский институт легких сплавов. 1996. С. 271–281.

4. Stress and strain gradients in high-pressure tube twisting / A. Pougis [et al.] // Scripta Materialia. 2012. V. 66. Iss. 10. P. 773–776.

5. Логинов Ю. Н., Буркин С. П., Уймин М. А. Угловое прессование текстурируемого магнитотвердого материала // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2001. № 3. С. 40–42.

6. Логинов Ю. Н., Буркин С. П. Оценка неравномерности деформаций и давлений при угловом прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2001. № 3. С. 29–34.

7. Логинов Ю. Н., Загиров Н. Н. Расчет деформированного состояния при закручивании пористой заготовки в контейнере // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1991. № 6. С. 41–44.

8. Loginov Y. N., Khamatov D. D. Accumulation of deformation in the winding circuit // KnE Engineering. 2019. P. 199–205.